植 物 分 类 与 资 源 学 报　2014, **36** (6): 698~706
Plant Diversity and Resources　　DOI: 10.7677/ynzwyj201414027

温度对高山植物紫花针茅种子萌发特性的影响*

李　雄[1,2,3], 尹　欣[1,2,3], 杨时海[3,4], 杨云强[1,2,3], 胡向阳[1,2], 杨永平[1,2**]
(1 中国科学院昆明植物研究所东亚植物多样性与生物地理学重点实验室, 云南 昆明　650201;
2 中国科学院昆明植物研究所西南野生生物种质资源库, 云南 昆明　650201; 3 中国
科学院大学, 北京　100049; 4 中国科学院青藏高原研究所, 北京　100101)

摘要: 温度是影响种子萌发的重要因子, 在气候变暖和草地退化的背景下, 认识温度变化对紫花针茅 (*Stipa purpurea*) 种子萌发的影响有重要意义。作者系统研究了 6 个恒温条件 (5、10、15、20、25、30 ℃) 和 3 个变温条件 (5/15、10/20、15/25 ℃) 对不同居群紫花针茅种子萌发特性的影响。结果表明, 紫花针茅种子适宜的萌发温度范围为 15~25 ℃, 低于 10 ℃或高于 30 ℃的温度都会抑制种子的萌发; 与对应的恒温条件相比, 变温条件不能起到促进紫花针茅种子萌发的作用; 不同居群紫花针茅种子萌发对温度的响应既有相同点, 也有不同点; 海拔高度与种子萌发率存在极显著负相关关系, 种子萌发季土壤温度与种子萌发存在显著负相关关系。本研究将为合理的保护和恢复紫花针茅草地提供一定科学依据。

关键词: 紫花针茅; 高寒草原; 人工种草; 温度; 种子萌发
中图分类号: Q 948.112.2　　**文献标识码**: A　　**文章编号**: 2095-0845(2014)06-698-09

Effects of Temperatures on Seed Germination Characteristics of Alpine Plant *Stipa purpurea* (Poaceae)*

LI Xiong[1,2,3], YIN Xin[1,2,3], YANG Shi-Hai[3,4], YANG Yun-Qiang[1,2,3],
HU Xiang-Yang[1,2], YANG Yong-Ping[1,2**]
(1 *Key Laboratory for Plant Diversity and Biogeography of East Asia*, *Kunming Institute of Botany*, *Chinese Academy of Sciences*, Kunming 650201, China; 2 *Germplasm Bank of Wild Species in Southwest of China*, *Kunming Institute of Botany*, *Chinese Academy of Sciences*, Kunming 650201, China; 3 *University of Chinese Academy of Sciences*, Beijing 100049, China; 4 *Institute of Tibetan Plateau Research*, *Chinese Academy of Sciences*, Beijing 100101, China)

Abstract: Temperature is an important factor to impact seed germination. Under the background of climate warming and grassland degradation, it includes great value to understand temperature change on seed germination of *Stipa purpurea*. In the present study, six constant temperature conditions (5, 10, 15, 20, 25, and 30 ℃) and three variable temperature conditions (5/15, 10/20, and 15/25 ℃) were set to systematically detect the effects of temperatures on seed germination characteristics of *Stipa purpurea* from three different populations. The results showed that the more suitable seed germination temperature of *S. purpurea* ranged from 15 to 25 ℃, and temperatures lower than 10 ℃ or higher than 30 ℃ would not be conducive to seed germination. Compared to the corresponding constant temperatures, variable temperature conditions had no effects on promoting seed germination of *S. purpurea*. Seed germination characteristics of *S. purpurea* from different populations responded to temperature change with both same and different points. Correlation analysis revealed that altitude showed highly significant negative correlation with the germination rate, whereas soil temperature of seed germination seasons in the field had significant negative correlation with seed germina-

* 基金项目: 国家重点基础研究发展计划项目 (2010CB951704) 和国家自然基金面上项目 (41271058)
** 通讯作者: Author for correspondence; E-mail: yangyp@mail.kib.ac.cn
收稿日期: 2014-02-14, 2014-06-03 接受发表
作者简介: 李　雄 (1987-) 男, 在读博士, 主要从事植物生理生态学研究。E-mail: lixiong@mail.kib.ac.cn

tion delay. This study will provide a scientific basis for reasonable protection and restoration of *S. purpurea* meadow.

Key words: *Stipa purpurea*; Alpine steppe; Grow grass artificially; Temperature; Seed germination

紫花针茅（*Stipa purpurea*）是禾本科（Poaceae）针茅属（*Stipa*）的多年生草本植物，广泛分布于青藏高原、帕米尔高原及亚洲中部的高山地区，是高寒草原特有的优势物种，具有很强的耐寒和耐旱特性（周兴民等，1987；辛玉春和尚永成，2010；胡梦瑶等，2012）。紫花针茅高寒草原在抗风固沙、保持水土等维护自然环境的稳定性方面起着重要作用（岳鹏鹏等，2008）。同时，紫花针茅营养丰富，牲畜适口性好（陈桂香等，1988），是青藏高原重要的优良牧草，为当地草地畜牧业的发展提供了必不可少的物质基础（岳鹏鹏等，2008）。

近年来，由于各种自然因素和人类活动的综合影响，高寒草原生态系统遭到了不同程度的干扰和破坏，对畜牧业发展和生态环境带来了严峻的挑战（马玉寿等，2002；龙瑞军等，2005；武高林和杜国祯，2007；蔡晓布等，2007；马乾坤，2013）。为了保证高寒草原生态系统的可持续发展和利用，除了不断完善和改进草地管理制度和模式以外（马乾坤，2013），对退化草地的生态恢复也迫在眉睫。对于不同退化程度的草地，应采取不同的恢复措施：草地改良用于轻度退化的草地；草地封育用于中度退化的草地；对于重度和极度退化的草地，则必须通过人工草地的建植（马玉寿等，2002；龙瑞军等，2005）。人工种草可以缩短草地生态系统的自然演替进程，较快恢复草地植被（Floc'H 等，1999）。建立以老芒麦（*Elymus sibiricus*）、垂穗披碱草（*Elymus nutans*）等当地特有的优良牧草为主的多年生人工草地是青藏高寒牧区主要的试验栽培方式，但该种草地普遍只能维持 3–5 年，严重阻碍了进一步的推广应用。造成这种现象的主要原因之一是毒杂草的入侵（张耀生等，2003），表明这类牧草相对于毒杂草的竞争力较弱。紫花针茅作为高寒草原长期以来的优势物种，在植物群落的演替和稳定中具有重要作用，对毒杂草入侵的抵抗力也可能更强，因此紫花针茅群落的自然演替或人工种植可能成为退化草地恢复的适宜选择。

种子萌发和出苗情况潜在影响着植物种群的动态和群落的组成，这一时期对各种环境条件反应最为敏感（赵霞等，2006）。温度是植物种子萌发与出苗的必要条件之一，温度过高或过低均能影响种子活力，造成萌发和出苗不良。种子萌发及萌发后的生长状况受土壤温度条件的影响，其萌发所需的最适温度往往与其起源地生态条件有关（塔依尔和杨梅花，2004；赵霞等，2006）。青藏高原被称作“世界屋脊”，有着独具特色的气候特征，不仅年均气温较低，而且昼夜、季节和地区间温差较大。在对高山植物的研究中，相关文献一致认为温度对种子萌发的影响超过了其他环境因子的潜在影响（吴宁等译，2008）。葛庆征等（2012）发现垂穗披碱草在恒温和变温条件下种子萌发率有明显差异，且高低温对发芽能力的影响和海拔高度有关。刘文等（2011）研究了青藏高原东缘 12 种菊科植物种子萌发对不同温度的响应，认为这些植物萌发最低温度较低和积温较高的特点是长期适应青藏高原特殊的温度环境的结果。刘坤（2011）研究了青藏高原东缘高寒草甸 973 种（66 科，355 属）植物的种子萌发特性后发现植物生活习性、种子特征和植物生境等都会影响种子萌发对温度的响应。紫花针茅作为青藏高原广泛分布的优势物种，种子萌发能力影响到紫花针茅种群的增长和群落的动态变化，在气候变暖和草地退化的双重压力下，了解和掌握温度变化对紫花针茅种子萌发的影响显得十分必要。作者系统研究了温度条件对不同居群紫花针茅种子萌发的影响，以期了解和认识以下问题：（1）温度变化对紫花针茅种子萌发有什么影响？（2）紫花针茅种子萌发对温度条件的响应是否存在种内差异？（3）温度对紫花针茅种子萌发的影响与其生境条件是否相关？本研究将为科学合理的保护和恢复紫花针茅草地提供理论基础。

1　材料与方法

1.1　供试种子

实验所用的紫花针茅种子于 2013 年 8 月 19–29 日采自西藏自治区的藏北高原，在紫花针茅分布区内，按从西到东植被类型的逐渐更替，分别选取西部的噶尔县、中部的尼玛县和东部的那曲县境内的三个居群成熟度一致的种子作为研究材料，采集地基本信息如表 1 所示。

将采集好的种子带回实验室，置于种子干燥间，在15 ℃、15%空气湿度的恒定条件下风干一周后取出。每个居群分别随机挑选100粒饱满的种子，去芒后用电子天平称重，每个居群重复5组，计算并取其平均值得到种子千粒重作为种子大小指标（表1）。

1.2 种子萌发

先将不同居群饱满的紫花针茅种子进行去芒处理，用1% NaClO溶液消毒2 min，然后用去离子水冲洗5次，用滤纸将种子表面的水分吸干。用1%琼脂糖固体培养基（d=10 cm培养皿）作为发芽床，设置6个恒温（5、10、15、20、25、30 ℃）和3个变温（5/15、10/20、15/25 ℃）（12/12 h）条件，所有萌发在12/12 h（光照/黑暗）的培养条件下进行。三个居群每个温度条件设置4个重复，每个重复随机选取25粒种子。实验中以胚根长到种子长度的1/2时作为萌发的标准，每天的相同时间记录萌发状况，实验持续30 d。

1.3 萌发指标的计量

（1）发芽率(%)=(30天内正常发芽种子数/供试种子数)×100%；

（2）发芽势（Ge）(%)=(规定7天内正常发芽种子数/供试种子数)×100%；

（3）萌发时滞（Gd）(d)：萌发开始时间，即第一粒种子萌发需要的天数；

（4）萌发历期（d）：萌发的种子中第一粒和最后一粒发芽的时间差；

（5）发芽指数 $Gi=\sum(G_t/D_t)$，其中 G_t 为 t 天的发芽种子数，D_t 为相应的发芽天数；

（6）胚芽和胚根长度测量（mm）：种子播种的第15 d，每个培养皿随机选取10粒萌发的种子分别测定其胚芽和胚根长度（萌发不足10粒的则全部测量）。

1.4 数据统计

用Microsoft Office 2010 Excel进行数据统计，用IBM SPSS Statistics 19进行差异性和相关性分析，用SigmaPlot 10.0作图。

2 结果和分析

2.1 温度对紫花针茅种子萌发率的影响

5~30 ℃的恒温条件下紫花针茅种子最终萌发率分别为5.0%、74.3%、78.0%、79.3%、76.7%和54.3%，表明紫花针茅种子萌发的温度范围比较广泛，但5 ℃时的萌发率显著低于其他温度条件（P<0.05），从10~30 ℃，种子萌发率先升高后降低，但变化不明显，最高萌发率出现在20 ℃（表2）。5/15、10/20和15/25 ℃的变温条件下，种子的萌发率分别为64.0%、79.0%和70.0%，萌发率随温度升高没有明显变化，三个变温条件的种子萌发率分别比对应的15、20和25 ℃恒温低14.0%、0.3%和6.7%，但结果却没有显著差异（表2）。

温度对不同居群紫花针茅种子萌发率的影响各不相同，同一温度下噶尔、尼玛和那曲三个居群紫花针茅种子萌发率不同且随温度无规律变化，三个居群的最低萌发率都出现在5 ℃，而最高萌发率分别出现在15 ℃（94.0%）、10 ℃（87.0%）和10/20 ℃（74.0%）（图1：A）。除了10/20 ℃下噶尔和那曲的紫花针茅种子的萌发率高于20 ℃，三个居群在变温条件下的种子萌发率均低于对应的恒温条件（指对应的较高温度的恒温条件，下同），部分结果存在显著差异（P<0.05）（图1：A）。

2.2 温度对紫花针茅种子发芽势的影响

5~30 ℃的恒温条件下紫花针茅种子7天时的发芽势分别为0、0、4.0%、40.3%、54.7%和32.7%，20~30 ℃的发芽势显著高于5~15 ℃（P<0.05），表明5~25 ℃温度范围内，温度越高越有利于紫花针茅种子萌发，温度高于25 ℃则会一定程度抑制种子萌发（表2）。5/15、10/20

表1 紫花针茅种子大小和采集地基本信息

Table 1 Basic information about seeds weight and collection sites of *Stipa purpurea*

采集地 Locality	经纬度 Longitude and latitude	海拔 Altitude /m	土壤月平均温度* Monthly average soil temperature/℃	种子千粒重 Thousand seed weight/g	植被类型 Vegetation type
噶尔县 Gar	E 80°47′22″, N 31°10′57″	4 495	5.10	2.45	荒漠化高寒草原
尼玛县 Nyima	E 86°50′54″, N 32°00′05″	4 538	3.83	1.85	高寒草原
那曲县 Nagchu	E 90°37′15″, N 30°50′52″	4 690	3.13	2.61	草原化草甸

* 数据来源于中国气象科学数据共享服务网（http://cdc.cma.gov.cn/home.do），为1981-2010年种子萌发季（4、5月）距离采样点最近的气象台站的月平均温度

* The data is from the China Meteorological Data Sharing Service Network (http://cdc.cma.gov.cn/home.do), which is the average monthly temperature of seed germination season (April and May) for the years 1981-2010 from the nearest weather stations

和 15/25 ℃变温条件下，种子的发芽势分别为 0、14.3%和 38.3%，发芽势随温度升高明显升高（$P<0.05$），且变温条件下发芽势均低于对应的恒温条件，但差异不明显（表 2）。

温度对不同居群紫花针茅种子发芽势影响存在差异，同一温度下噶尔、尼玛和那曲三个居群紫花针茅种子发芽势各不相同，但表现出相对较为一致的 *Ge*（噶尔）>*Ge*（尼玛）>*Ge*（那曲）（图 1：B）。三个居群的发芽势在 5、10 和 5/15 ℃都为 0，且最高发芽势也都出现在 25 ℃，分别为 66.0%、61.0%和 37.0%（图 1：B），分别占该温度下总萌发率的 82.5%、74.4%和 54.4%。以上结果说明温度过低种子萌发较慢，而在较高温度，尤其是 25 ℃条件下，绝大多数种子都在前一周完成萌发。三个居群变温条件下种子发芽势均低于对应的恒温条件，其中 10/20 ℃下的所有结果显著低于 20 ℃（$P<0.05$），其他部分结果存在明显差异（$P<0.05$）（图 1：B）。

2.3　温度对紫花针茅种子发芽指数的影响

5~30 ℃的恒温条件下紫花针茅种子发芽指数分别为 0.04、1.30、1.71、2.94、3.97 和 2.98，25 ℃的发芽指数显著高于其他温度（$P<0.05$）（表 2）。变温条件下，5/15、10/20 和 15/25 ℃的种子发芽指数分别为 0.80、1.97 和 2.63，发芽指数随温度升高没有显著变化，且变温条件下种子的萌发率均低于对应的恒温条件，但差异不明显（表 2）。

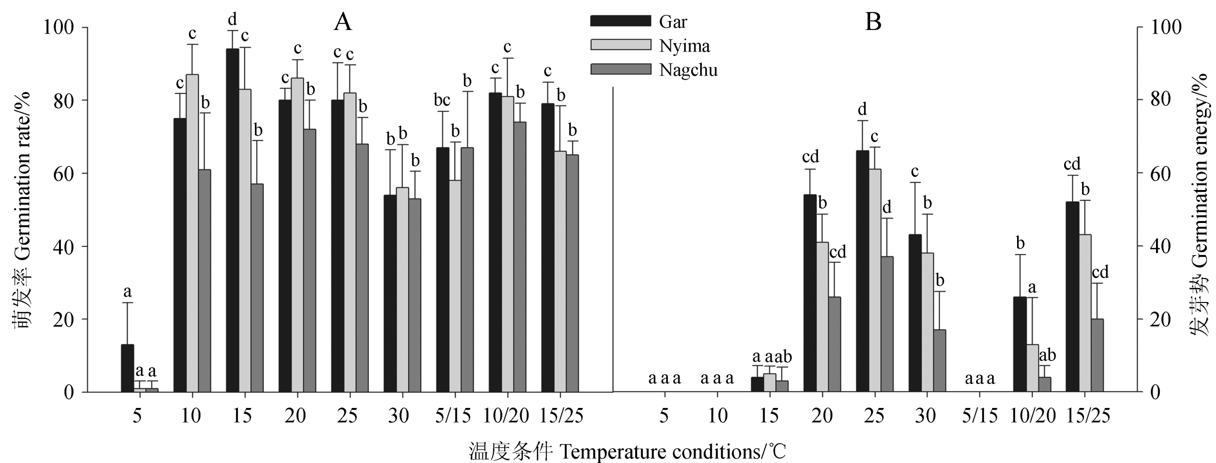


图 1　温度对不同居群紫花针茅种子萌发率和发芽势的影响。A. 萌芽率；B. 发芽势。不同字母表示差异显著（$P<0.05$）（下同）

Fig. 1　Effects of temperatures on seed germination rate and germination energy of *Stipa purpurea* from different populations
A. Germination rate; B. Germination energy. Different letters on column present significant difference ($P<0.05$) (Following figures are the same)

表 2　不同温度条件下三个居群紫花针茅种子萌发指标的平均值

Table 2　The average values of *Stipa purpurea* seed germination indicators from three populations under different temperature conditions

温度 Temperature /℃	萌发率 Germination rate/%	发芽势 Germination energy/%	发芽指数 Germination index	萌发时滞 Germination delay/d	萌发历期 Germination duration/d	胚芽长度 Germ length /mm	胚根长度 Radicle length /mm
5	5.0±6.9^{a}	0.0±0.0^{a}	0.04±0.06^{a}	/	/	0.00±0.00^{a}	0.00±0.00^{a}
10	74.3±13.0^{b}	0.0±0.0^{a}	1.30±0.28^{abc}	9.08±0.52^{c}	18.50±1.00^{a}	11.44±1.96^{b}	11.09±1.38^{b}
15	78.0±19.0^{b}	4.0±1.0^{a}	1.71±0.48^{abc}	7.00±0.50^{b}	18.58±2.74^{a}	26.22±3.65^{c}	20.19±7.00^{c}
20	79.3±7.0^{b}	40.3±14.0^{bc}	2.94±0.51^{cd}	4.00±0.00^{a}	14.42±1.70^{a}	53.46±4.45^{e}	25.92±3.37^{cd}
25	76.7±7.6^{b}	54.7±15.5^{c}	3.97±1.23^{d}	2.58±0.63^{a}	17.58±4.25^{a}	58.98±4.75^{e}	33.70±4.09^{d}
30	54.3±1.5^{b}	32.7±13.8^{bc}	2.98±1.23^{cd}	2.25±0.43^{a}	19.92±2.70^{a}	41.39±9.55^{d}	26.42±1.08^{cd}
5/15	64.0±5.2^{b}	0.0±0.0^{a}	0.80±0.11^{ab}	14.00±1.32^{d}	16.08±1.81^{a}	4.20±2.00^{ab}	4.68±2.97^{ab}
10/20	79.0±4.4^{b}	14.3±11.1^{ab}	1.97±0.36^{bc}	5.92±0.95^{b}	15.92±2.74^{a}	31.56±2.47^{c}	24.94±2.20^{cd}
15/25	70.0±7.8^{b}	38.3±16.5^{bc}	2.63±0.86^{bcd}	3.92±0.58^{a}	19.50±4.55^{a}	50.78±1.77^{d}	33.20±6.94^{d}

温度对不同居群紫花针茅种子发芽指数影响存在差异，同一温度下噶尔、尼玛和那曲三个居群紫花针茅种子发芽指数各不相同，但表现出相对较为一致的 *Gi*（噶尔）> *Gi*（尼玛）> *Gi*（那曲）（图 2）。三个居群的发芽指数的最小值和最大值都分别出现在 5 ℃和 25 ℃，最小值分别为 0.12、0.01 和 0.01，最大值分别为 5.21、3.96 和 2.75（图 2）。三个居群变温条件下种子发芽指数均低于对应的恒温条件，其中 10/20 ℃下的所有结果显著低于 20 ℃（$P<0.05$），其他部分结果存在明显差异（$P<0.05$）（图 2）。

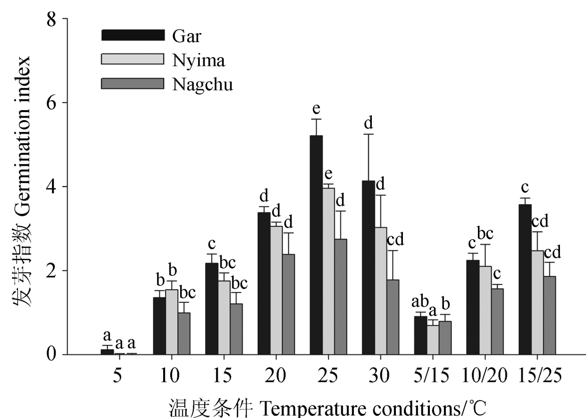


图 2 温度对不同居群紫花针茅种子发芽指数的影响

Fig. 2 Effects of temperatures on seed germination index of *Stipa purpurea* from different populations

2.4 温度对紫花针茅种子发芽时间的影响

10~30 ℃的恒温条件下紫花针茅种子萌发时滞分别为 9.08、7.00、4.00、2.58 和 2.25 d，即随着温度升高，第一粒种子萌发所需时间逐渐减少，10 和 15 ℃下种子萌发时滞显著高于其他时间（$P<0.05$）（表 2）。变温条件下，5/15、10/20 和 15/25 ℃的种子萌发时滞分别为 14.00、5.92 和 3.92 d，第一粒种子萌发所需时间随温度升高明显减少（$P<0.05$）（表 2）。变温条件下种子萌发时滞均高于对应的恒温条件，其中 5/15 和 10/20 ℃变温条件下的结果显著高于 15 和 20 ℃（$P<0.05$）（表 2）。与种子萌发时滞不同，不同温度下种子萌发历期没有明显差异，且随温度变化不呈规律性变化，在 14~20 d 之间波动（表 2）。

温度对不同居群紫花针茅种子萌发时滞的影响存在差异，同一温度下噶尔、尼玛和那曲三个居群紫花针茅种子萌发时滞各不相同，恒温条件下表现出较为一致的 *Gd*（噶尔）< *Gd*（尼玛）< *Gd*（那曲），变温条件下则无规律变化（图 3：A）。但无论是恒温还是变温条件下，三个居群的萌发时滞都随着温度的升高而明显降低，且变温条件下三个居群的萌发时滞都大于对应的恒温条件，部分结果存在明显差异（$P<0.05$）（图 3：A）。温度对不同居群种子萌发历期的影响存在差异，即同一温度下噶尔、尼玛和那曲三个居群种子萌发历期各不相同，但同一居群种子萌发历期随温度变化没有明显规律性变化（图 3：B）。

结果说明温度变化主要影响紫花针茅种子开始萌发的时间，与发芽过程持续时间关系不大，恒温条件相对于变温条件能更快的使紫花针茅种子萌发。

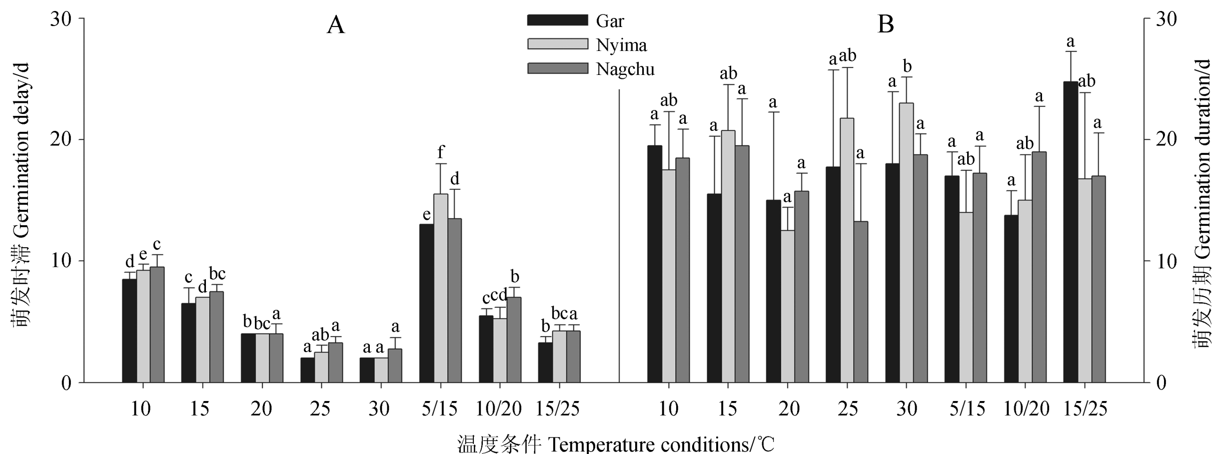


图 3 温度对不同居群紫花针茅种子萌发时滞和萌发历期的影响。A. 萌发时滞；B. 萌发历期

Fig. 3 Effects of temperatures on seed germination delay and germination duration of *Stipa purpurea* from different populations. A. Germination delay; B. Germination duration

2.5　温度对紫花针茅胚芽和胚根生长的影响

5～30 ℃的恒温条件下紫花针茅胚芽长度分别为 0、11.44、26.22、53.46、58.98 和 41.39 mm，胚根长度分别为 0、11.09、20.19、25.92、33.70 和 26.42 mm，随着温度升高，胚芽和胚根长度都呈明显先增加后减少的趋势变化（$P<0.05$），最大值在 25 ℃，表明温度为 5～25 ℃时，温度越高越有利于紫花针茅幼苗生长，当温度高于 25 ℃，胚芽和胚根生长一定程度受抑制（表 2）。变温条件下，5/15、10/20 和 15/25 ℃的胚芽长度分别为 4.20、31.56 和 50.78 mm，胚根长度分别为 4.68、24.94 和 33.20 mm，胚芽和胚根长度随温度升高都明显增加（$P<0.05$）（表 2）。变温条件下胚芽和胚根长度均小于对应的恒温条件，其中 10/20 ℃和 15/25 ℃变温条件下的胚根长度略小于 20 ℃和 25 ℃，其余结果则有显著差异（$P<0.05$）（表 2）。除了 5/15 ℃下胚根长度略大于胚芽长度，其余所有温度下胚芽长度均大于胚根长度，且相对高温条件（20～30 ℃）比低温条件（5～15 ℃）差异较为明显（表 2）。

温度对不同居群紫花针茅胚芽和胚根生长的影响存在差异，同一温度下噶尔、尼玛和那曲三个居群紫花针茅的胚芽和胚根长度各不相同，不同温度条件下，三个居群紫花针茅的胚芽和胚根长度大小关系也不相同（图 4）。恒温条件下，三个居群的胚芽和胚根长度随温度升高而明显地先增加后减小（$P<0.05$），最大值在 25 ℃；变温条件下，除了那曲的胚根长度在 15/25 ℃比 10/20 ℃略短以外（图 4：B），三个居群的胚芽和胚根长度都随温度升高而明显地增加（$P<0.05$）（图 4）。除了 15/25 ℃下那曲的胚根长度比 25 ℃稍长以外（图 4：B），三个居群变温条件下的胚芽和胚根长度都比对应的恒温条件短，部分结果存在显著差异（$P<0.05$）（图 4：B）。

2.6　紫花针茅种子大小和环境因子与种子萌发特性的相关性

以单个紫花针茅居群所有温度条件下的种子萌发指标的平均值作为该居群的各项萌发指标，分别用三个居群的种子大小、环境因子（海拔和土壤温度）和种子萌发指标进行相关性分析（表 3）。结果表明，不同居群紫花针茅种子大小与温度处理下的萌发特性没有明显的相关性；不同居群的海拔高度与紫花针茅种子的萌发率之间有极显著（Sig. = 0.004，$r = -1.000$）的负相关关系，即海拔高度越高，紫花针茅种子萌发率越低；野外种子萌发季（4、5 月）的土壤温度和紫花针茅种子萌发时滞存在显著（Sig. = 0.049，$r = -0.997$）的负相关关系，即萌发季的土壤温度越高，种子开始萌发所需要的时间越短；环境因子和种子萌发的发芽势、发芽指标、萌发历期，以及幼苗生长状况则没有明显的相关性。

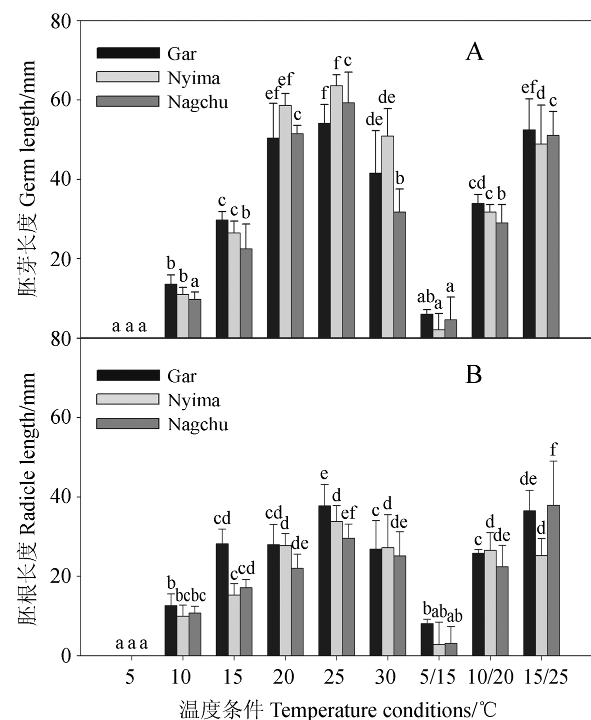


图 4　温度对不同居群紫花针茅胚芽和胚根长度的影响
A. 胚芽长度；B. 胚根长度
Fig. 4　Effects of temperatures on the length of germs and radicles of *Stipa purpurea* from different populations
A. Germ length; B. Radicle length

3　讨论

尽管紫花针茅是青藏高原高寒草原的重要优势物种，但有关紫花针茅种子生态学的研究还很少。因此不能很好地了解和认识各种环境因子对紫花针茅种子萌发的影响，也难以合理掌握复杂的环境条件下紫花针茅种群和群落的动态变化，而实验室研究工作则能较为系统和明确地认识紫花针茅对各种环境因子的响应。温度是影响植物种子萌发的最主要因子之一（Nyachiro 等，2002），种子萌发有最低、最高和最适温度，不同地区的植物

表3 不同居群紫花针茅种子大小、生境条件和萌发指标的相关性分析

Table 3 Correlation analysis of different *Stipa purpurea* populations among seed size, habitat conditions and seed germination indicators

		萌发率 *Gr*	发芽势 *Ge*	发芽指数 *Gi*	萌发时滞 *Gd*	萌发历期 *Gd*	胚芽长度 *Lg*	胚根长度 *Lr*
种子大小 Seed size	Pearson 相关性	-0.525	-0.396	-0.245	-0.042	-0.663	-0.876	0.305
	显著性（双侧）	0.648	0.741	0.842	0.974	0.539	0.320	0.802
	N	3	3	3	3	3	3	3
海拔 Altitude	Pearson 相关性	-1.000**	-0.994	-0.965	0.850	-0.978	-0.850	-0.680
	显著性（双侧）	0.004	0.067	0.169	0.353	0.135	0.353	0.524
	N	3	3	3	3	3	3	3
土壤温度 Soil temperature	Pearson 相关性	0.891	0.932	0.978	-0.997*	0.772	0.513	0.941
	显著性（双侧）	0.300	0.237	0.135	0.049	0.439	0.657	0.220
	N	3	3	3	3	3	3	3

* 在0.05水平（双侧）上显著相关；** 在0.01水平（双侧）上显著相关

* Significant correlation on the 0.05 level (bilateral); ** Significant correlation on the 0.01 level (bilateral)

种子萌发温度范围有明显差异，这是由于种子的成熟、休眠和萌发都是季节性的，萌发温度与生长环境相一致（管康林，2009）。本研究的结果证明温度变化对紫花针茅种子萌发有重要影响，而且来自不同居群的种子对温度的响应存在差别，这种差别和居群的生长环境有一定的相关性。

种子萌发率、发芽势、发芽指数、萌发时间、胚芽和胚根生长状况是评价一定环境条件下种子萌发优劣常用的指标（郑蔚虹等，2004；孙菊和杨允菲，2006；李延红等，2008；张睿昕等，2010；努尔帕提曼·买买提热依木等，2011）。种子发芽率是衡量种子质量好坏的重要指标，它同时受种子完好性、休眠状况、活力等内部因素和温度、光照、水分等外部因素的共同影响。本研究中，紫花针茅种子萌发的适宜温度为10~25 ℃，发芽率在74.3%~79.3%，25 ℃的发芽率分别比5 ℃和30 ℃高74.3%和25.0%，充分说明温度对发芽率有很大影响。5 ℃恒温条件下，只有5.0%的种子开始萌发，原因是种子萌发需要一定的积温（Garcia-Huidobro等，1982），在发芽床上如果温度太低，种子不能在一定时间里积累到所需的萌发热量，则会出现活力降低、腐烂和发霉等现象。即使在最适宜的温度时，仍有近20.0%的种子没有发芽，这一方面可能是受到温度以外环境因子的限制，另一方面则可能和种子的休眠有关。尽管韩冰等（2011）认为针茅属植物种子休眠期一般只有7 d左右，但是禾本科牧草中普遍存在种子休眠程度异质性的现象（管康林，2009），因此可能致使部分种子不能及时萌发。发芽势反映了种子的发芽速度和整齐度（何欢乐等，2005），发芽率高、发芽势强，预示着出苗快而整齐，苗壮；发芽率高、发芽势弱，预示着出苗不齐、弱苗多。本研究中5~30 ℃下7 d的发芽势占总发芽率的比例分别为0、0、5.1%、50.8%、71.3%和60.1%，结合发芽率大小说明发芽势的适宜温度为20~25 ℃。萌发时滞和萌发历期的时间长短反映了种子萌发的速度和难易程度，尽管随着温度的升高，种子萌发时滞逐渐减少，但种子萌发的持续时间在温度梯度间变化很小，整个过程均需持续14~20 d，说明紫花针茅种子萌发个体差异较大，这可以认为是对野外环境的一种适应性，因为青藏高原环境变化多端，较长的发芽周期可以避免种子集中在某一时段萌发，从而降低多变的环境造成幼苗大量死亡的风险（刘文等，2011）。胚芽和胚根的生长状况反映了植物幼苗健壮的潜势（何欢乐等，2005），强壮的植株有利于抵抗不良环境，0~25 ℃胚芽和胚根长度都随温度上升而增加，但30 ℃时胚芽和胚根长度又出现减少，表明一定范围内较高的温度有利于紫花针茅子代的建植和生存，较为适宜的温度条件为15~25 ℃。综合评价，我们认为紫花针茅种子萌发的适宜温度为15~25 ℃，温度低于10 ℃或高于30 ℃都会一定程度抑制紫花针茅种子的萌发。

恒温和变温是两种常用的种子萌发处理条件，研究认为，变温处理可以促进大多数种子发芽，还能促进未成熟种子或浅休眠种子的发芽，原因是高低温互变会促进种子中各类酶系统的生理活

动，引起种皮收缩，促进种子与环境的气体交换（管康林，2009）。例如，变温条件能显著提高沙棘（*Hippophae rhamnoides*）、盐节木（*Halocnemum strobilaceum*）、菟丝子（*Cuscuta epithymum*）、发草（*Deschampsia caespitosa*）和垂穗披碱草（*Elymus nutans*）等野生植物的种子发芽率（塔依尔和杨梅花，2004；Meulebrouck 等，2008；Qu 等，2008；张睿昕等，2010；葛庆征等，2012）。这种效应通常被认为是具有较强休眠特性的野生物种的种子对自然环境的一种适应性，具有重要的生态学意义（Graae 等，2008；葛庆征等，2012）。然而，本研究的植物紫花针茅是一种尚未有人工栽培和驯化报道的典型的野生草种，三个居群的萌发指标都显示变温条件不能促进紫花针茅种子的萌发，说明紫花针茅种子萌发对变温条件不敏感，这种特性可以避免紫花针茅种子受野外环境中非萌发季昼夜温差变化的影响，从而保证种子按照物候节律在环境条件适宜的萌发季节发芽。

种子萌发是一种复杂的现象，萌发特征受自身种子特性和外界环境因子共同决定。种子大小在控制种子萌发、幼苗建植和植物生长中都起着重要作用。张蕾等（2011）对青藏高原东缘 31 种杂草种子展开研究，发现物种间种子萌发和种子大小有着紧密的相关性。在物种内，柯文山等（2000）也发现四川大头茶（*Gordonia acuminata*）地理种群种子大小影响种子萌发，其中大种子普遍有较高的萌发率。本研究中噶尔、尼玛和那曲三个地方的紫花针茅种子大小和萌发特征之间却没有明显的相关性，但这不排除种子活力和休眠特性对不同居群紫花针茅种子萌发有大的影响。Orozco-Segovia 等（1996）认为种子在一系列温度下的萌发与植物生态或地理分布相关，Probert（2000）同样指出物种的地理分布和生态分布影响种子萌发对温度的响应。本研究得到相似的结果，分别采自噶尔、尼玛和那曲三个地方的紫花针茅种子在相同温度下的各项发芽参数都不相同，响应温度变化的程度也各不相同，而且种子的发芽势、发芽指数和萌发时滞在三个梯度间呈梯度变化。数据表明温度条件变化下噶尔的紫花针茅种子萌发效果最好，尼玛的其次，那曲的最差，这可能是由紫花针茅分布格局上的地理位置和环境因子所决定的。环境因子和种子萌发参数的相关性分析表明，海拔高度带来的遗传差异是决定紫花针茅种子发芽率大小的关键因子，海拔越高，环境条件越不稳定，种子的质量可能越差，萌发率也越低；野外种子萌发季土壤温度影响紫花针茅种子的萌发时滞，原因可能是野外土壤温度越低，种子需要更长时间来达到萌发所需的积温。这些结果显示了紫花针茅种子萌发对生境条件适应的特性，但是关于不同居群紫花针茅种子萌发的积温效应，以及种子活力和休眠特性对种子萌发特性的影响，还需要进一步的研究。

综上所述，紫花针茅种子萌发对温度的响应既有高山植物的普遍特点，也有自身的特殊性，这些特性和适应青藏高原特殊的自然环境密切相关。本研究有助于对野外紫花针茅种质资源进行合理评价，从而更好地了解和掌握紫花针茅种群的动态变化特征和进行草地的恢复和改良。

致谢 感谢中国西南野生生物种质资源库种质保藏中心为本研究提供指导和帮助。

〔参 考 文 献〕

陈桂香，邵立业，王周龙等，1988. 紫花针茅与立地因子关系的数量化分析［J］. 中国草原，(1)：53，56—59

管康林，2009. 种子生理生态学［M］. 北京：中国农业出版社，60—62，121

韩冰，赵萌莉，珊丹，2011. 针茅属植物分子生态学［M］. 北京：科学出版社，46—47

刘坤，2011. 青藏高原东缘高寒草甸植物种子萌发能力对储藏和温度条件的响应研究［D］. 兰州：兰州大学博士学位论文，17—54

吴宁，罗鹏，易绍良等译（Körner C，2003），2008. 高山植物功能生态学（Functional Plant Ecology of High Mountain Ecosystems）［M］. 北京：科学出版社，233—234

周兴民，王质彬，杜庆，1987. 青海植被［M］. 西宁：青海人民出版社，66—68

Cai XB（蔡晓布），Zhang YQ（张永青），Shao W（邵伟），2007. Degradation and mechanism of grassland of north tibet alpine prairie［J］. *Soils*（土壤），**39**（6）：855—858

Floc'H EL，Neffati M，Chaieb M *et al.*，1999. Rehabilitation experiment at menzel Habib，Southern Tunisia［J］. *Arid Soil Research and Rehabilitation*，**13**（4）：357—368

Garcia-Huidobro J，Monteith JL，Squire GR，1982. Time，temperature and germination of pearl millet（*Pennisetum typhoides* S. & H.）I. Constant temperature［J］. *Journal of Experimental Botany*，**33**（2）：288—296

Ge QZ (葛庆征), Zhang WG (张卫国), Zhang LF (张灵菲) *et al*., 2012. Effects of temperature on germination of *Elymus nutans* seeds [J]. *Pratacultural Science* (草业科学), **29** (5): 759—767

Graae BJ, Alsos IG, Ejrnaes R, 2008. The impact of temperature regimes on development, dormancy breaking and germination of dwarf shrub seeds from arctic, alpine and boreal sites [J]. *Plant Ecology*, **198** (2): 275—284

He HL (何欢乐), Cai R (蔡润), Pan J S (潘俊松) *et al*., 2005. Effect of NaCl stress on germination characteristics of cucumber [J]. *Journal of Shanghai Jiao Tong University* (Agriculture Sciences) (上海交通大学学报·农业科学版), **25** (2): 148—152

Hu MY (胡梦瑶), Zhang L (张林), Luo TX (罗天祥) *et al*., 2012. Variations in leaf functional traits of *Stipa purpurea* along a rainfall gradient in Xizang, China [J]. *Chinese Journal of Plant Ecology* (植物生态学报), **36** (2): 136—143

Ke WS (柯文山), Zhong ZC (钟章成), Xi HA (席红安) *et al*., 2000. The variation of seed sizes of *Gordonia acuminata* geographic populations and its effect on seed germination and seedling [J]. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **20** (4): 697—701

Li YH (李延红), Wang SY (王生耀), Wang K (王堃), 2008. Effects of enhanced ultra-violet (UV-B) irradiation on seed germination and seedling of three common herbage grass species [J]. *Prataculture & Animal husbandry* (草业与畜牧), (12): 19—22

Liu W (刘文), Liu K (刘坤), Zhang CH (张春辉) *et al*., 2011. Effect of accumulated temperature on seed germination-a case study of 12 Compositae species on the eastern Qinghai-Tibet Plateau of China [J]. *Chinese Journal of Plant Ecology* (植物生态学报), **35** (7): 751—758

Long RJ (龙瑞军), Dong SK (董世魁), Hu ZZ (胡自治), 2005. Grassland degradation and ecological restoration in Western China [J]. *Grassland and Turf* (草原与草坪), (6): 3—7

Ma QK (马乾坤), 2013. Analysis of grassland degradation in alpine grassland [J]. *Qinhai Prataculture* (青海草业), **22** (2): 23—25

Ma YS (马玉寿), Lang BN (郎百宁), Li QY (李青云) *et al*., 2002. Study on rehabilitating and rebuilding technologies for degenerated alpine meadow in the Changjiang and Yellow river source region [J]. *Pratacultural Science* (草业科学), **19** (9): 1—5

Meulebrouck K, Ameloot E, Van Assche JA *et al*., 2008. Germination ecology of the holoparasite *Cuscuta epithymum* [J]. *Seed Science Research*, **18** (1): 25—34

Nurpatima M (努尔帕提曼·买买提热依木), Qiman Y (齐曼·尤努斯), Tan DY (谭敦炎), 2011. Seed germination and plant growth of four ephemeral species under salt stress [J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica* (西北植物学报), **31** (8): 1618—1627

Nyachiro JM, Clarke FR, Depauw RM *et al*., 2002. Temperature effects on seed germination and expression of seed dormancy in wheat [J]. *Euphytica*, **126** (1): 123—127

Orozco-Segovia A, González-Zertuche L, Mendoza A *et al*., 1996. A mathematical model that uses Gaussian distribution to analyze the germination of *Manfreda brachystachya* (Agavaceae) in a thermogradient [J]. *Physiologia Plantarum*, **98** (3): 431—438

Probert RJ, 2000. The role of temperature in the regulation of seed dormancy and germination [A]. *Seed: The Ecology of Regeneration in Plant Communities* [M]. CAB International, Wallingford, UK, 261—292

Qu XX, Huang ZY, Baskin JM *et al*., 2008. Effect of temperature, light and salinity on seed germination and radicle growth of the geographically widespread halophyte shrub *Halocnemum strobilaceum* [J]. *Annals of Botany*, **101** (2): 293—299

Sun J (孙菊), Yang YF (杨允菲), 2006. Effect of salt stress on germination of seeds and embryo growth of *Leymus secalinus* [J]. *Journal of Sichuan Grassland* (四川草原), (3): 17—20

Ta YE (塔依尔), Yang MH (杨梅花), 2004. Effect of different temperatures on the seed germination of *Hippophae rhamnoides* [J]. *Seed* (种子), **23** (9): 32—34

Wu GL (武高林), Du GZ (杜国祯), 2007. Discussion on ecological construction and sustainable development of degraded alpine grassland ecosystem of the Qinghai-Tibetan Plateau [J]. *Chinese Journal of Nature* (自然杂志), **29** (3): 159—164

Xin YC (辛玉春), Shang YC (尚永成), 2010. Study on dynamic changes of alpine grasslands in Qinghai [J]. *Chinese Journal of Grassland* (中国草地学报), **32** (6): 86—89, 99

Yue PP (岳鹏鹏), Lu XF (卢学峰), Ye RR (叶润蓉) *et al*., 2008. Community charateristics of *Stipa purpurea* steppe in source regions of Changjiang and Huanghe Rivers, China [J]. *Journal of Plant Ecology* (植物生态学报), **32** (5): 1116—1125

Zhang L (张蕾), Zhang CH (张春辉), Lü JP (吕俊平) *et al*., 2011. Seed germination characteristics and their correlations with seed sizes of 31 common weeds in eastern Qinghai-Tibet Plateau [J]. *Chinese Journal of Ecology* (生态学杂志), **30** (10): 2115—2121

Zhang RX (张睿昕), Yu XJ (鱼小军), Deng LQ (邓利强) *et al*., 2010. Effects of temperature on *Deschampsia caespitosa* seed germination and seedling growth [J]. *Grassland and Turf* (草原与草坪), **30** (1): 42—44

Zhang YS (张耀生), Zhao XQ (赵新全), Huang DQ (黄德清), 2003. The study on sustainable using of perennial sowing grassland in the Qinghai-Tibet Plateau pasture [J]. *Acta Prataculturae Sinica* (草业学报), **12** (3): 22—27

Zhao X (赵霞), Xie YZ (谢应忠), Liu GX (刘桂霞), 2006. Discussion on factors affecting seed germination and seedling survival [J]. *Heilong jiang Agricultural Sciences* (黑龙江农业科学), (3): 76—80

Zheng WH (郑蔚虹), Qi HY (齐恒玉), He JL (何俊莉), 2004. Effects of gibberellin on seed germination and seedling growth of lilac [J]. *Forestry Science & Technology* (林业科技), **29** (4): 4—6